



ARTICLE

Fitur Modifikasi Objek untuk Ketidakakuratan Spasial pada Aplikasi Furnitur Markerless Augmented Reality

Object Modification Feature for Spatial Inaccuracies in Markerless Augmented Reality Furniture Applications

Arif Pramudwiatmoko* dan Ricky Armanda

Teknik Komputer, Fakultas Sains & Teknologi, Universitas Teknologi Yogyakarta, Yogyakarta, Indonesia

*Penulis Korespondensi: arif.pramudwiatmoko@uty.ac.id

(Disubmit 31-12-24; Diterima 17-03-25; Dipublikasikan online pada 20-06-25)

Abstrak

Teknologi augmented reality untuk aplikasi visualisasi furnitur mempunyai tantangan berupa proyeksi objek virtual pada dunia nyata yang dapat mengganggu pengalaman pengguna dalam menilai objek furnitur yang akan dibeli. Penelitian ini mengukur ketidakakuratan spasial tersebut untuk kemudian mengembangkan aplikasi visualisasi furnitur yang disertai fitur modifikasi objek untuk mengatasi dampak ketidakakuratan tersebut. Pengukuran dilakukan secara langsung terhadap proyeksi objek virtual di dunia nyata. Pengembangan aplikasi menggunakan model prototyping berdasarkan hasil analisis pengukuran ketidakakuratan spasial yang terjadi untuk menentukan fitur modifikasi spasial yang tepat. Hasil pengujian menunjukkan bahwa aplikasi mampu berjalan dengan akurasi yang sangat baik pada saat inisiasi objek dengan ketidakakuratan proyeksi jarak objek 1% dan ketidakakuratan skala objek 2,83%. Namun fluktuasi posisi dan disorientasi sesaat yang umum terjadi menyebabkan perubahan posisi dan orientasi objek yang cukup signifikan dari posisi dan orientasi awal. Fitur translasi horizontal, fitur rotasi pada sumbu vertikal, dan fitur deteksi permukaan datar diterapkan untuk dapat mengoreksi posisi dan orientasi objek furnitur di dunia nyata.

Kata kunci: Augmented reality; akurasi spasial; markerless; visualisasi furnitur; fitur modifikasi

Abstract

Augmented reality technology for furniture visualization applications has challenges in the form of spatial inaccuracies in the projection of virtual objects in the real world that can interfere with the user experience in assessing furniture objects to be purchased. This study measured the spatial inaccuracy to then developed a furniture visualization application that was accompanied by object modification features to overcome the impact of the inaccuracy. Measurements were carried out directly on the projection of virtual objects in the real world. Application development used a prototyping model based on the results of the analysis of spatial inaccuracy measurements that occurred to determine the right spatial modification features. The test results showed that the application was able to run with very good accuracy at the time of object initiation with an object distance projection inaccuracy of 1% and an object scale inaccuracy of 2.83%. However, common fluctuations in position and momentary disorientation caused significant changes in the position and orientation of objects from the initial position and orientation. The horizontal translation feature, the rotation feature on the vertical axis, and the flat surface detection feature were applied to be able to correct the position and orientation of furniture objects in the real world.

KeyWords: Augmented reality; spatial accuracy; markerless; furniture visualization; modification features

This is an Open Access article - copyright on authors, distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License (CC BY SA) (<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>)

How to Cite: A. Pramudwiatmoko *et al.*, "Fitur Modifikasi Objek untuk Ketidakakuratan Spasial pada Aplikasi Furnitur Markerless Augmented Reality", *JIKO (JURNAL INFORMATIKA DAN KOMPUTER)*, Volume: 9, No.2, Pages 393–404, Juni 2025, doi: 10.26798/jiko.v9i2.1650.

1. Pendahuluan

Augmented reality (AR) telah secara cepat berkembang menjadi teknologi yang inovatif yang meningkatkan pengalaman pengguna (*user experience*) dengan menggabungkan dunia nyata dengan dunia digital. Penggunaan antarmuka visual 3D dapat meningkatkan perhatian dan motivasi penggunaan aplikasi [1]. Salah satu penerapan AR adalah dalam penjualan furnitur di mana pelanggan dapat memvisualisasikan bagaimana furnitur yang hendak dibeli itu terlihat jika diletakkan di ruangan yang diinginkan sebelum benar-benar melakukan pembelian.

Namun, teknologi ini masih menyisakan tantangan besar dalam memberikan pengalaman pengguna yang optimal, terutama dalam masalah ketidakakuratan spasial yang mencakup ukuran/skala, posisi, dan orientasi objek virtual furnitur ketika divisualisasikan di dunia nyata (proses registrasi objek 3D ke dunia nyata). Aplikasi AR sering mengandalkan teknik pengukuran visual serta sensor perangkat *mobile*, seperti *accelerometer* dan *gyroscope*, untuk menentukan posisi dan orientasi objek virtual dalam hubungannya dengan lingkungan fisik nyata. Namun, faktor-faktor ini memiliki toleransi pengukuran yang dapat menyebabkan ketidakstabilan spasial yang mengakibatkan perbedaan antara proyeksi objek virtual dan kondisi dunia nyata.

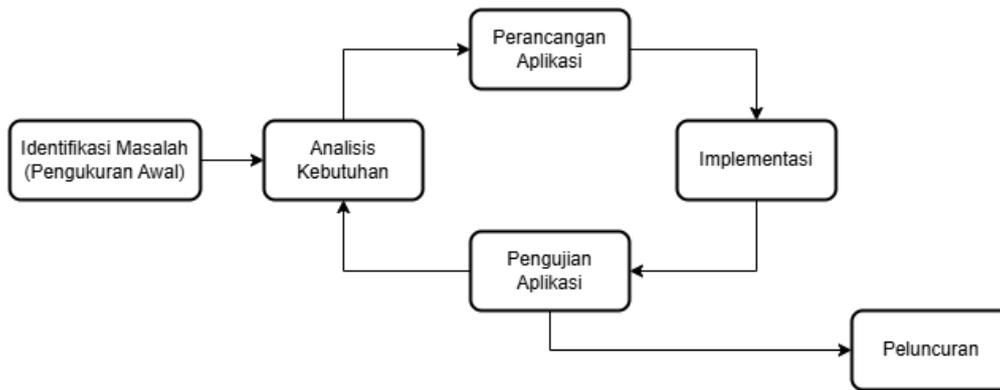
Ketidakstabilan spasial *markerless* AR ini pernah diteliti oleh Scargill, dkk. [2, 3] menggunakan berbagai aksi pengguna, *smartphone*, dan lingkungan yang berbeda-beda. Hasilnya menegaskan pentingnya kebutuhan peningkatan lebih lanjut untuk algoritma pelacakan (*tracking*). Ketidakakuratan ini dapat menurunkan pengalaman pengguna dan mengurangi kepercayaan pengguna pada aplikasi AR [4, 5, 6, 7]. Representasi spasial yang akurat dari objek virtual dalam lingkungan dapat secara signifikan meningkatkan rasa kehadiran objek dan pengalaman pengguna secara keseluruhan [8].

Teknologi AR telah digunakan untuk memvisualisasikan furnitur dalam bentuk miniatur [9, 10] maupun dalam bentuk skala-nyata (*real-scale*) [11, 12, 13, 14]. Visualisasi dalam bentuk miniatur tidak terlalu dirugikan dengan ketidakakuratan skala dan jarak karena tidak ada tuntutan menyajikan objek virtual furnitur dengan skala aslinya. Namun visualisasi furnitur dalam skala-nyata sangat membutuhkan akurasi spasial tersebut untuk memenuhi ekspektasi pengguna. *Markerless* AR digunakan dalam visualisasi skala-nyata karena tidak akan terkendala karena harus mengidentifikasi *marker* yang diletakkan jauh dari kamera. Namun ketidakakuratan spasial dan dampaknya terhadap visualisasi furnitur belum dikaji secara komprehensif.

Penelitian ini berkontribusi dengan mengukur tingkat ketidakakuratan spasial dalam proyeksi objek virtual pada aplikasi visualisasi furnitur berbasis *markerless* AR. Pengukuran dilakukan melalui metode langsung dengan menandai posisi sudut-sudut objek virtual di dunia nyata dan mengukurnya menggunakan alat pita pengukur fisik seperti pada studi Ariwa, dkk. [15], bukan hanya pengukuran digital melalui aplikasi [12]. Harapannya pengukuran langsung ini akan lebih mencerminkan ukuran aktual objek virtual di dunia nyata dengan menghindari elemen ketidakakuratan spasial terapkan dalam pengukuran digital. Selanjutnya, aplikasi penjualan furnitur dikembangkan dengan menambahkan fitur modifikasi skala, rotasi, dan translasi untuk membantu pengguna menyesuaikan proyeksi objek secara manual guna mengatasi dampak ketidakakuratan tersebut. Fokus tujuan penerapan fitur-fitur modifikasi untuk mengatasi dampak ketidakakuratan spasial ini menghasilkan argumen yang lebih kuat atas penerapan fitur-fitur tersebut. Dengan demikian, penelitian ini memberikan wawasan lebih lanjut tentang keterbatasan spasial pada *markerless* AR serta solusi untuk meningkatkan kegunaan aplikasi visualisasi furnitur.

2. Metode

Beberapa tahapan dilakukan pada penelitian ini menggunakan model *prototyping* untuk menghasilkan aplikasi visualisasi furnitur yang disertai fitur modifikasi objek virtual untuk mengatasi dampak dari ketidakakuratan spasial. Tahapan dimulai dari mengidentifikasi signifikansi dari ketidakakuratan spasial *markerless* AR, dilanjutkan dengan perancangan dan implementasi aplikasi visualisasi furnitur beserta fitur yang dibutuhkan. Pengujian fungsionalitas aplikasi dilakukan untuk memastikan aplikasi berjalan dengan baik. Siklus pengembangan aplikasi ini terlihat di Gambar 1.



Gambar 1. Siklus pengembangan aplikasi visualisasi furnitur dengan fitur modifikasi objek virtual. Siklus berulang sampai semua fitur yang dibutuhkan terimplementasikan dengan baik.

2.1 Identifikasi Masalah

Langkah awal yang dilakukan adalah mengidentifikasi masalah dari ketidakakuratan spasial dalam aplikasi *markerless* AR. Pengujian sederhana dilakukan dengan aplikasi AR yang menampilkan objek-objek kubus dengan berbagai jarak, mengukur jarak dan ukuran proyeksi kubus di dunia nyata, kemudian membandingkan ukuran proyeksi tersebut dengan ukuran yang diharapkan. Satu unit jarak di perangkat lunak *Unity* adalah setara dengan satu meter jarak di dunia nyata. Pengamatan juga dilakukan terhadap konsistensi posisi titik-titik sudut kubus yang tentunya berpengaruh terhadap akurasi spasial proyeksi objek di dunia nyata. Pengujian dengan pengukuran fisik manual dipilih dibandingkan pengukuran menggunakan aplikasi (sistem AR) karena dua alasan. Alasan yang pertama, karena akurasi dari penerapan sistem AR inilah yang sedang diuji melalui pengukuran ini, sehingga jika pengukuran dilakukan menggunakan alat yang sedang diuji itu sendiri (sistem AR) maka validitas hasil pengukuran ini akan dipertanyakan. Alasan yang kedua, karena tujuan pengukuran ini adalah untuk mengetahui seberapa akurat objek virtual berhasil diproyeksikan di dunia nyata, maka akan sangat relevan jika pengukuran dilakukan di dunia nyata menggunakan alat pengukur fisik nyata.

2.2 Analisis Kebutuhan Fitur Hasil identifikasi ketidakakuratan ukuran objek tersebut dapat digunakan untuk menganalisis seberapa signifikan dampaknya terhadap aplikasi visualisasi furnitur yang dikembangkan. Fitur-fitur modifikasi yang akan disematkan ke dalam aplikasi visualisasi furnitur ini adalah hasil dari analisis kebutuhan untuk meminimalkan dampak ketidakakuratan spasial tersebut terhadap persepsi pengguna aplikasi visualisasi furnitur yang dikembangkan.

2.2 Perancangan Aplikasi

Aplikasi dirancang dengan mengakomodasi kebutuhan fitur yang telah dijabarkan di langkah sebelumnya. Diagram alir aplikasi dibuat sebagai rancangan proses yang terjadi di aplikasi. Menu-menu dalam aplikasi dirancang dengan sketsa tampilan *user interface* (UI). Objek-objek virtual yang perlu untuk ditampilkan dalam aplikasi didaftar untuk dibuat di tahap berikutnya. Objek-objek tersebut meliputi objek 3 dimensi (3D) maupun tekstur 2 dimensi (2D).

2.3 Implementasi Aplikasi

Pada tahap ini, aplikasi dibuat berdasarkan rancangan di tahap sebelumnya. Aplikasi dikembangkan menggunakan *Unity 3D Engine*. Objek-objek 3D dibuat menggunakan *Blender*. Sedangkan kebutuhan tekstur 2D untuk permukaan objek dan tampilan antarmuka dibuat menggunakan *Adobe Photoshop*. Platform penerapan aplikasi AR ini adalah *Android* dengan menggunakan *smartphone Android* sebagai perangkatnya.

2.4 Pengujian Aplikasi

Tahap pengujian dilakukan untuk mengetahui berjalannya aplikasi beserta fitur-fitur yang dikembangkan. Pada tahap ini, aplikasi diuji langsung menggunakan *smartphone Android*. Metode yang digunakan adalah *Black Box Functionality Testing* yang mengujikan fungsi-fungsi dari setiap fitur dan menu yang dikembangkan.

2.5 Perangkat Lunak

Perangkat lunak yang digunakan dalam pengembangan aplikasi ini adalah sebagai berikut:

- *Microsoft Windows 10 Home*, sebagai sistem operasi komputer pengembang.
- *Unity 3D* versi 2021.3.8f1, sebagai *framework* atau *game engine* yang untuk membuat aplikasi dengan paket *ARFoundation* dan *ARCore* untuk pengembangan aplikasi AR berbasis *Android*.
- *Blender* versi 3.0.1, digunakan untuk membuat objek furnitur 3D.
- *Adobe Photoshop* versi CS6, digunakan untuk membuat tekstur 2D. Perangkat lunak tersebut diope-
rasikan menggunakan komputer dengan spesifikasi yang mendukung.

2.6 Perangkat Keras

Perangkat keras *smartphone* di mana aplikasi AR dijalankan sangat berpengaruh terhadap hasil dari apli-
kasi ini karena spesifikasi dan kualitas sensor-sensor dan komponen pemroses komputasi sangat ber-
pengaruh terhadap akurasi dari aplikasi. *Smartphone* yang digunakan adalah *Samsung Galaxy A52s 5G*
dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Chipset Qualcomm SM7325 Snapdragon 778G 5G (6 nm) dengan RAM 8GB.
- Kamera yang digunakan 64 MP, f/1.8, 26mm (wide), 1/1.7", 0.8µm, PDAF, OIS.
- Sensor accelerometer, gyro, kompas, dan Virtual Proximity Sensing.

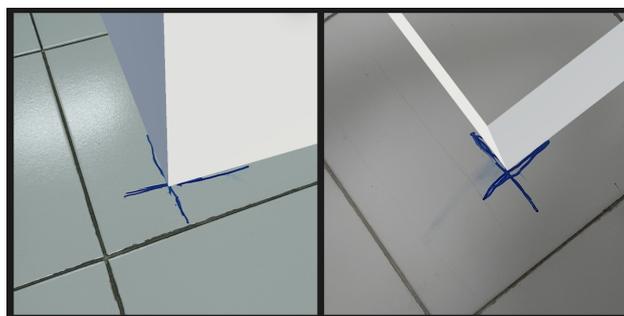
Selanjutnya dalam artikel ini, perangkat keras ini disebut sebagai piranti AR.

3. Hasil

Hasil dari setiap tahap penelitian menjadi masukan bagi tahap berikutnya. Hasil identifikasi masalah ada-
lah pengukuran ketidakakuratan spasial yang menjadi dasar bagi tahap analisis kebutuhan fitur yang ke-
mudian menjadi dasar rancangan aplikasi dan implementasinya.

3.1 Identifikasi Ketidakakuratan Spasial

Identifikasi ketidakakuratan spasial dilakukan dengan mengukur proyeksi objek virtual kubus dengan
ukuran 1 unit Unity (setara 1 meter di dunia nyata) dengan 4 macam jarak dari posisi piranti AR: 1 meter, 2
meter, 3 meter, dan 4 meter. Segera setelah aplikasi dijalankan dan menampilkan objek kubus, dengan hati-
hati piranti AR didekatkan ke kubus untuk memberi tanda posisi proyeksi sudut-sudut kubus dengan spidol
penanda. Penandaan dilakukan per kubus secara cepat untuk menghindari terjadinya fluktuasi proyeksi
selama proses penandaan setiap kubus yang mungkin menyebabkan penandaan tidak valid. Gambar 2
menunjukkan contoh penandaan sudut kubus.



Gambar 2. Penandaan proyeksi sudut kubus virtual. Sudut kiri depan dan kanan depan.

Dua tanda proyeksi sudut kubus tersebut mampu memberikan informasi spasial yang cukup atas proyeksi
objek virtual tersebut. Jarak antara kedua tanda tersebut jika diukur secara fisik menggunakan pita pe-
ngukur adalah ukuran (lebar) objek pada proyeksinya di dunia nyata. Perbandingan dengan ukuran kubus
yang diinginkan (dalam konsep) menunjukkan akurasi proyeksi skala objek virtual di dunia nyata. Posisi

awal piranti AR ketika menjalankan aplikasi disebut sebagai titik nol. Jarak antara titik tengah kedua tanda sudut dengan titik nol adalah jarak proyeksi objek di dunia nyata yang mencerminkan akurasi proyeksi jarak objek virtual. Selanjutnya, garis yang dibentuk oleh kedua tanda tersebut mencerminkan orientasi dari objek virtual. Hasil dari pengukuran tersebut terlihat di Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengukuran proyeksi objek virtual kubus di dunia nyata. Ukuran lebar kubus adalah 1 unit di *Unity* yang setara dengan 1 meter di dunia nyata.

Jarak Konsep (cm)	Jarak Proyeksi (cm)	Lebar Konsep (cm)	Lebar Proyeksi (cm)	Selisih Jarak (%)	Selisih Lebar (%)
100	101	100	101	1,0	1,0
200	201	100	101	0,5	1,0
300	297	100	101	1,0	1,0
400	394	100	101	1,5	1,0
Rata-rata:				1,0	1,0

Hasil pengukuran Tabel 1 menunjukkan bahwa berdasarkan pengukuran proyeksi objek virtual ini piranti AR mampu memproyeksikan objek virtual dengan baik. Kesalahan spasial jarak dan ukuran terukur hanya 1% dari yang diharapkan. Hal ini membuktikan bahwa teknologi piranti AR sudah cukup mampu menyokong sistem AR. Apakah masih ada masalah?

Selama proses pengukuran, terjadi fluktuasi perubahan posisi titik yang dapat mencapai 4 cm dari posisi awal. Pergeseran ini yang mempersulit pemberian tanda di sudut kubus. Pemberian tanda dilakukan secepat mungkin sebelum terjadi perubahan posisi yang signifikan. Karena itu, meskipun selisih jarak dan ukuran (lebar) kubus antara konsep dan proyeksi kecil, bukan berarti bahwa ketidakakuratan spasial tidak signifikan. Bahkan dari proses pengukuran didapati terkadang terjadi disorientasi yang menyebabkan objek virtual menghilang dengan singkat untuk kemudian muncul lagi dengan posisi dan orientasi yang bergeser sangat jauh dari posisi awal. Kecilnya selisih jarak dan selisih ukuran tersebut menunjukkan bahwa aplikasi AR sebenarnya cukup berhasil dalam menampilkan proyeksi objek sesuai konsep, terutama dalam hal skala objek. Namun fluktuasi perubahan posisi dan disorientasi yang kadang terjadi menyebabkan penyimpangan posisi dan orientasi objek secara keseluruhan. Meskipun demikian, tidak terlihat perubahan kemiringan objek setelah terjadi gangguan spasial tersebut. Hal ini kemungkinan dikarenakan adanya sensor *gyro* yang memberikan data keseimbangan (kemiringan) kepada aplikasi.

3.2 Fitur Modifikasi Spasial

Berdasarkan hasil pengidentifikasian ketidakakuratan spasial didapatkan bahwa fitur modifikasi spasial tetap dibutuhkan untuk menyelaraskan kembali proyeksi objek yang terdampak. Berikut fitur-fitur yang menjadi perhatian:

3.2.1 Fitur Modifikasi Posisi (Translasi)

Fitur ini digunakan untuk menggeser posisi objek virtual furnitur. Translasi dapat dilakukan secara horizontal (2 sumbu horizontal) atau vertikal (1 sumbu). Fluktuasi perubahan posisi objek terjadi lebih banyak secara horizontal. Meskipun di penelitian ini tidak dilakukan pengukuran yang lebih komprehensif terhadap fluktuasi perubahan posisi secara vertikal, namun penting bagi objek virtual untuk selalu berada tepat di atas permukaan bidang berdiri objek, dan fitur deteksi permukaan datar dapat melakukannya. Fitur modifikasi translasi horizontal perlu untuk diadakan untuk memberikan kemampuan koreksi atas ketidakakuratan posisi objek yang banyak terjadi karena fluktuasi posisi proyeksi dan disorientasi sesaat. Sedangkan fitur modifikasi vertikal dapat diabaikan jika aplikasi sudah memiliki fitur yang dapat memastikan objek berada tepat di atas permukaan bidang berdiri objek. Namun fitur translasi vertikal menjadi berguna jika aplikasinya pengguna ingin memindahkan posisi objek furnitur ke tempat lain yang mungkin memiliki elevasi yang berbeda.

3.2.2 Fitur Modifikasi Orientasi (Rotasi)

Fitur ini digunakan untuk memutar objek virtual. Rotasi mempunyai 3 sumbu, yaitu berputar terhadap 1 sumbu vertikal dan secara horizontal terdapat 2 sumbu untuk berputar. Rotasi pada sumbu horizontal menentukan kemiringan objek. Perputaran yang dihasilkan dari fluktuasi posisi terjadi, namun perubahan kemiringan tidak terpancang berkat adanya sensor gyro. Karena itu, fitur modifikasi rotasi pada sumbu horizontal tidak diperlukan. Penempatan furnitur pun pada kenyataannya tidak akan dimiringkan sehingga menguatkan alasan untuk tidak menyertakan fitur rotasi pada sumbu horizontal.

3.2.3 Fitur Modifikasi Skala

Fitur ini digunakan untuk memperbesar atau memperkecil objek virtual. Jika mengacu kepada hasil identifikasi di Tabel 1, fitur modifikasi skala ini tidak terlalu dibutuhkan. Namun pada kenyataannya, beberapa furnitur memiliki bentuk yang sama tapi berbeda ukuran. Karena itu, fitur modifikasi skala ini diadakan untuk mengakomodasi perbedaan ukuran objek furnitur tersebut, bukan untuk mengantisipasi ketidakakuratan skala proyeksi objek virtual.

3.2.4 Fitur Deteksi Permukaan Datar

Fitur ini berguna untuk memberikan kemudahan kepada pengguna saat menempatkan proyeksi objek virtual pada ruangan di dunia nyata sesuai yang diinginkan. Fitur ini berfungsi untuk menempatkan objek virtual tepat di atas permukaan bidang berdirinya sehingga mengurangi kebutuhan fitur modifikasi translasi vertikal. Fitur ini juga mampu mendeteksi kemiringan permukaan lantai di mana objek furnitur akan diletakkan sehingga dapat digunakan dalam inisiasi kemiringan objek dan dapat menghilangkan kebutuhan fitur modifikasi rotasi pada sumbu horizontal.

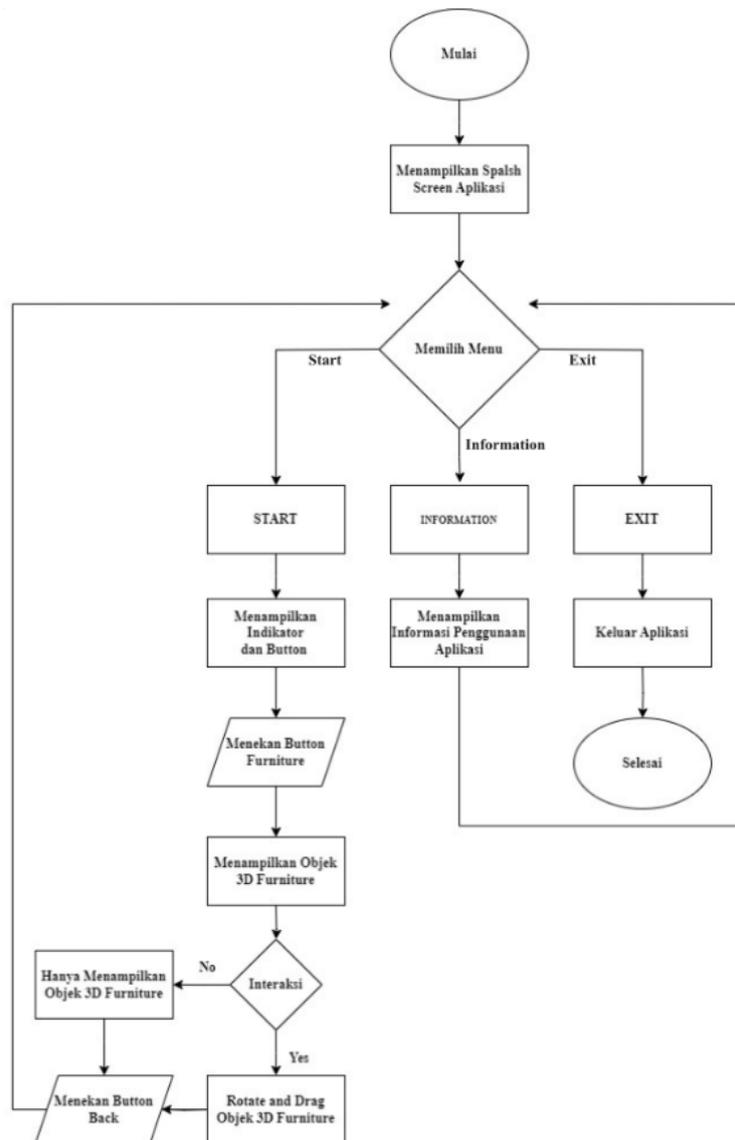
3.3 Perancangan Aplikasi AR Furnitur

Aplikasi AR Furnitur dirancang berdasarkan analisis kebutuhan fitur untuk memvisualisasikan objek furnitur pada ruangan yang dikehendaki pengguna. Alur program yang menjelaskan proses-proses dalam aplikasi dirancang dan dituangkan dalam bentuk diagram alir aplikasi (Gambar 3). Aplikasi dibuka dengan menu dengan 3 pilihan: memulai visualisasi AR (*Start*), menampilkan informasi program (*Information*), dan mengakhiri aplikasi (*Exit*). Sketsa tampilan UI dibuat untuk mengimplementasikan proses-proses tersebut (Gambar 4). Objek 3D yang dibuat adalah furnitur-furnitur yang akan ditampilkan dalam aplikasi AR Furnitur ini. Tekstur 2D yang dibuat adalah tekstur permukaan furnitur-furnitur dan gambar *icon* dan latar belakang yang akan digunakan pada tampilan menu aplikasi.

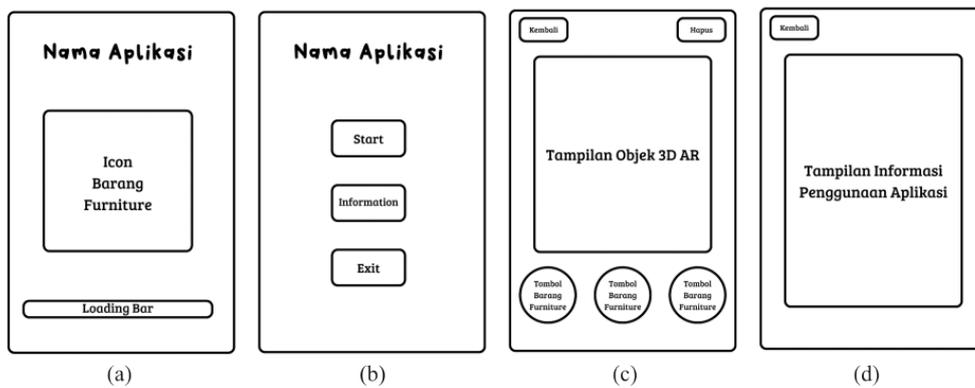
3.4 Implementasi Aplikasi AR Furnitur

Aplikasi AR Furnitur dikembangkan berdasarkan rancangan diagram alir aplikasi dan desain tampilan. Aplikasi dimulai dengan tampilan *Splash Screen* di awal pembukaannya, dengan *loading* bar yang menunjukkan progres persiapan aplikasi (Gambar 5a). Ketika aplikasi sudah siap, muncul menu *Home* yang menampilkan 3 tombol pilihan aksi (Gambar 5b). Tombol *Start* jika ditekan akan mengarahkan aplikasi ke Menu Visualisasi yang menjadi inti dari aplikasi ini (Gambar 5c). Tombol *Information* digunakan untuk menampilkan informasi cara penggunaan aplikasi (Gambar 5d), sedangkan Tombol *Keluar* digunakan untuk mengakhiri aplikasi dan keluar.

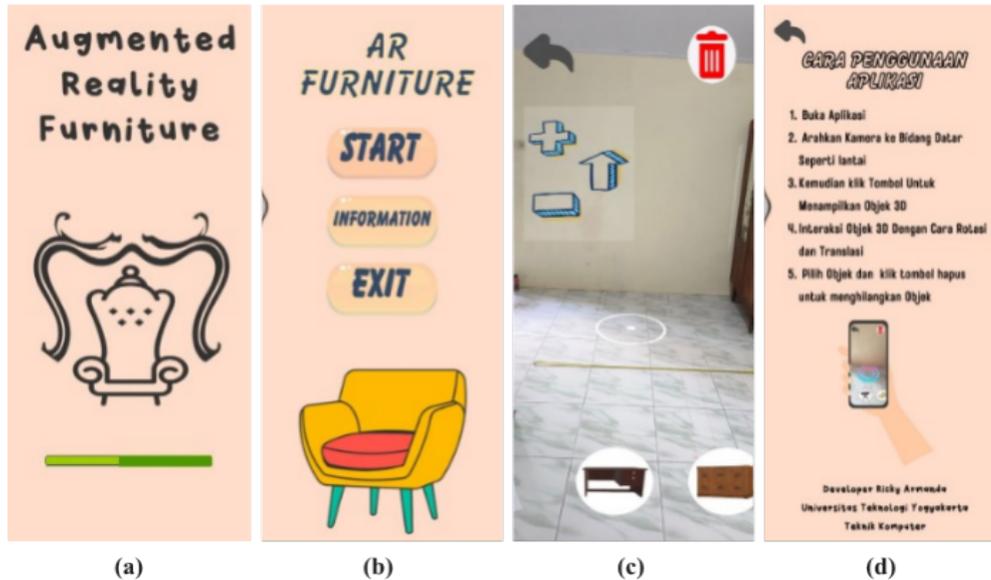
Menu Visualisasi berisi Tombol *Kembali* di kiri atas layar untuk kembali ke Menu *Home*, Tombol *Hapus* di kanan atas untuk menghapus objek 3D yang divisualisasikan, tombol-tombol barang furnitur dengan untuk memilih objek furnitur yang akan ditampilkan, kemudian layar tengah yang berisi tampilan kamera belakang untuk memvisualisasikan objek furnitur di dunia nyata. Pada awalnya, sebuah lingkaran penanda akan muncul di layar yang merupakan tanda posisi di mana objek furnitur akan diproyeksikan. Lingkaran penanda ini merupakan fitur deteksi permukaan datar yang diimplementasikan dari komponen *AR Plane* dari paket *AR Foundation* yang dimiliki oleh *Unity 3D*. Lingkaran penanda ini yang akan menentukan orientasi/kemiringan objek furnitur. Dalam inisiasinya, lingkaran penanda akan selalu berada di tengah layar dan mendeteksi apakah tempat proyeksi tersebut adalah suatu bidang datar atau bukan. Ketika *AR Plane* mendeteksi suatu bidang datar di tempat lingkaran penanda tersebut diproyeksikan, lingkaran penanda tersebut akan menyesuaikan orientasinya dengan kemiringan bidang datar tersebut, menyebabkan



Gambar 3. Diagram alir aplikasi AR Furnitur



Gambar 4. Sketsa rancangan menu aplikasi AR Furnitur. (a) Tampilan Splash Screen. (b) Tampilan Menu Home. (c) Tampilan Menu Visualisasi. (d) Tampilan Menu Informasi



Gambar 5. Tampilan menu aplikasi. (a) Tampilan Splash Screen. (b) Tampilan Menu Home. (c) Tampilan Menu Visualisasi. (d) Tampilan Menu Informasi.

objek furnitur yang dimunculkan akan tegal lurus dengan bidang datar tempat di mana objek tersebut diproyeksikan. Kemampuan fitur ini yang menyebabkan fitur rotasi pada sumbu horizontal tidak perlu disediakan.

Selain tombol-tombol tersebut, di sebelah kiri layar terdapat tombol +, tombol -, dan tombol \uparrow . Tombol-tombol tersebut adalah tombol untuk memperbesar objek, memperkecil objek, dan menaik-turunkan objek. Fitur-fitur tersebut merupakan fitur-fitur yang tidak dimaksudkan untuk mengatasi ketidakakuratan spasial, namun bermanfaat untuk pengguna menempatkan objek virtual sesuai yang dikehendaki. Fitur translasi horizontal dapat diakses dengan menekan layar selama 2 detik kemudian menggeserkan jari di layar (*dragging*), sedangkan fitur rotasi sumbu vertikal diakses dengan mengusap layar ke kiri atau ke kanan (*swiping*).

3.5 Pengujian Aplikasi AR Furnitur

Aplikasi AR Furnitur diuji dengan melihat keberhasilan proses-proses dan fungsi-fungsi aplikasi. Aspek-aspek yang diuji adalah: keberhasilan menu dan tampilan, keberfungsian fitur, visualisasi objek dengan berbagai jarak, dan akurasi skala proyeksi beberapa objek furnitur. Tabel 2 menampilkan hasil uji fungsionalitas aplikasi. Hampir semua proses, fungsi, dan menu aplikasi AR Furnitur mampu dioperasikan dengan baik sehingga mendapatkan 92,9% keberhasilan. Satu-satunya kegagalan adalah pada skenario menampilkan objek 3D berjarak lebih dari 6 meter. Pengujian kemampuan jarak proyeksi objek dilakukan dengan variasi jarak mulai dari 1 meter sampai maksimal. Proyeksi objek 3D dapat dilakukan sampai jarak 5 meter (Gambar 6). Lingkaran penanda tidak dapat muncul pada jarak 6 meter, yang ini membuktikan bahwa kemampuan deteksi bidang datar tidak mampu dilakukan pada jarak tersebut (Gambar 6f).

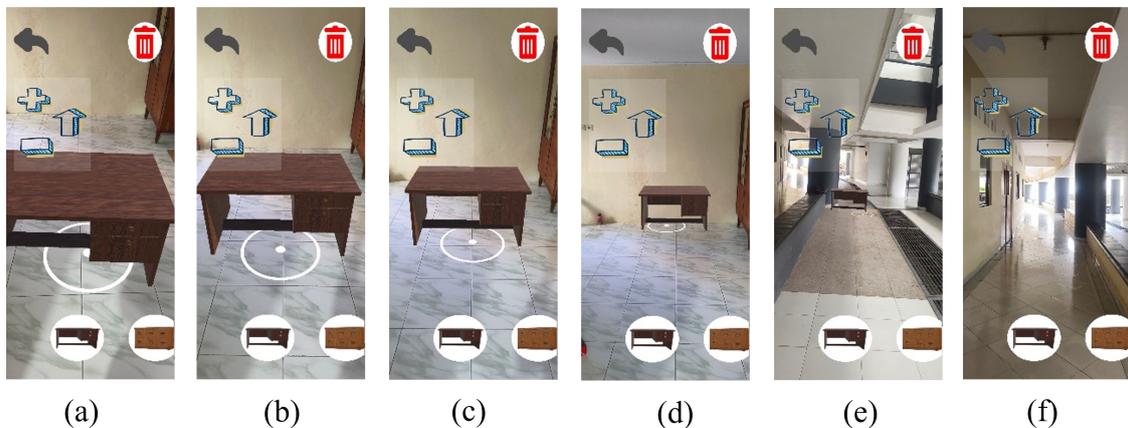
Pengujian terakhir adalah ukuran proyeksi objek furnitur pada aplikasi AR Furnitur. Pada pengujian ini sedikit berbeda dengan pengukuran proyeksi objek virtual kubus sebelumnya (Tabel 1), di mana objek yang digunakan adalah objek-objek 3D furnitur dari aplikasi yang sudah dikembangkan. Tabel 3 menunjukkan hasil pengujiannya bahwa akurasi skala proyeksi objek masih sangat baik (penyimpangan 2,826%), meskipun terjadi penurunan akurasi. Penurunan tersebut sebenarnya lebih dikarenakan penandaan sudut ujung objek furnitur yang lebih sulit karena bentuk furnitur yang tidak kotak sempurna seperti objek kubus di pengukuran sebelumnya.

4. Pembahasan

Berdasarkan pengukuran dan pengujian akurasi proyeksi objek 3D virtual pada dunia nyata (Tabel 1 dan Tabel 3) terlihat bahwa kemampuan perangkat keras (piranti AR, sensor, kamera, dan pemroses) dan per-

Tabel 2. Hasil pengujian pasca implementasi Aplikasi AR Furnitur

No	Aspek Uji	Hasil	Keberhasilan
1	Tampilan Menu Splash Screen dan loading bar.	Menu Splash Screen dan loading bar tampil dengan baik. Loading bar mampu menampilkan progress pembukaan aplikasi.	Berhasil
2	Tampilan Menu Home	Menu Home tampil dengan baik. Tombol-tombol berfungsi dengan baik.	Berhasil
3	Tampilan Menu Visualisasi	Menu Visualisasi tampil dengan baik. Tombol-tombol berfungsi. Tangkapan layar kamera berfungsi.	Berhasil
4	Tampilan Menu Informasi	Menu Informasi tampil dengan baik, menampilkan menu Informasi cara penggunaan aplikasi.	Berhasil
5	Tombol Exit untuk mengakhiri aplikasi	Tombol Exit berfungsi dengan baik untuk mengakhiri aplikasi dan keluar dari aplikasi.	Berhasil
6	Fitur pendeteksi permukaan datar	Lingkaran penanda muncul dengan kemiringan sesuai dengan permukaan di dunia nyata.	Berhasil
7	Visualisasi objek 3D furnitur.	Objek 3D furnitur yang dipilih tampil sesuai lokasi lingkaran penanda.	Berhasil
8	Fitur modifikasi translasi horizontal	Objek 3D dapat dipindahkan secara horizontal dengan baik.	Berhasil
9	Fitur modifikasi translasi vertikal	Elevasi objek 3D dapat dinaikkan dan dapat diturunkan.	Berhasil
10	Fitur rotasi terhadap sumbu vertikal	Objek 3D dapat diputar tanpa mengubah kemiringan.	Berhasil
11	Fitur modifikasi skala	Objek 3D dapat diperbesar dan diperkecil menggunakan tombol dengan baik.	Berhasil
12	Tombol Hapus	Objek 3D yang dipilih dapat dihapus dari visualisasi.	Berhasil
13	Menampilkan objek dengan jarak 1 meter sampai dengan 5 meter	Objek 3D muncul dengan baik.	Berhasil
14	Menampilkan objek dengan jarak lebih dari 5 meter	Indikator penanda tidak muncul sehingga objek tidak dapat dimunculkan.	Gagal



Gambar 6. Proyeksi objek 3D furnitur Aplikasi AR Furnitur dengan variasi jarak. (a) Jarak 1 meter. (b) Jarak 2 meter. (c) Jarak 3 meter. (d) Jarak 4 meter. (e) Jarak 5 meter. (f) Jarak 6 meter.

Tabel 3. Hasil pengujian ukuran proyeksi objek 3D furnitur Aplikasi AR Furnitur.

No	Objek Furnitur	Lebar Konsep (cm)	Lebar Proyeksi (cm)	Selisih Lebar (cm)	Selisih Lebar (%)
1	Meja Belajar	100	95	5	8,00
2	Meja Belajar	110	108	2	1,81
3	Meja Belajar	120	122	2	1,66
4	Lemari	100	97	3	3,00
5	Lemari	110	110	0	0,00
6	Lemari	120	121	1	0,83
7	Rak Sandal	100	100	0	0,00
8	Rak Sandal	110	111	1	0,91
9	Rak Sandal	120	127	7	5,83
10	Rak Sandal	130	142	12	9,23
Rata-rata:				3,3	2,83

angkat lunak (*library* dan *framework*) sudah cukup mampu menampilkan objek 3D dengan akurasi yang tinggi. Ketidakakuratan spasial yang terukur kurang dari 3%. Ini membuktikan bahwa teknologi *markerless AR* mampu melakukan inisiasi awal objek 3D dengan akurat. Objek 3D furnitur mampu ditampilkan secara akurat di ruangan yang diinginkan. Namun seiring dengan waktu berjalannya aplikasi, terutama dengan adanya aktivitas interaksi pengguna dengan piranti dan aplikasi AR, muncul perubahan posisi titik-titik proyeksi yang menyebabkan objek 3D bergeser. Bahkan kadang terjadi suatu disorientasi dari aplikasi yang menyebabkan proyeksi objek-objek 3D terhenti (objek 3D menghilang dari layar piranti AR). Setelah aplikasi dapat memulihkan kembali orientasinya, maka aplikasi akan kembali menampilkan objek 3D dengan informasi spasial baru yang berhasil dipulihkan oleh aplikasi. Hal ini yang memungkinkan muncul perbedaan spasial antara sebelum dan sesudah disorientasi. Masa pemulihan tersebut menjadi saat yang sangat menentukan karena aplikasi kehilangan atensi terhadap lingkungan (dunia nyata). Jika terlalu banyak pergerakan terjadi pada piranti AR selama masa pemulihan tersebut, informasi spasial yang diperoleh aplikasi antara sebelum dan setelah disorientasi akan tidak sinkron. Hal ini menyebabkan proyeksi kembali objek 3D menyimpang dari posisi awal. Dengan kata lain, proses registrasi objek ke dunia nyata mengalami perubahan dari posisi awal. Ini menyebabkan objek 3D mendapatkan posisi dan orientasi baru di dunia nyata sehingga pengguna mendapati objek tersebut telah berpindah dari posisi awal.

Perubahan spasial yang terjadi adalah perubahan posisi secara horizontal dan perubahan orientasi terhadap sumbu vertikal. Tidak terpantau adanya perubahan elevasi/ketinggian objek yang berarti tidak ada perubahan posisi secara vertikal. Begitu juga dengan orientasi, tidak terpantau adanya perubahan kemiringan objek, yang berarti tidak ada perubahan orientasi terhadap sumbu horizontal. Objek 3D hanya berubah dengan bergeser dan berputar terhadap bidang datar rata-rata air. Dengan demikian, koreksi spasial yang perlu dilakukan adalah translasi horizontal dan rotasi pada sumbu vertikal.

Fitur-fitur modifikasi spasial dari aplikasi AR Furnitur ditujukan untuk membantu pengguna memulihkan kembali posisi dan orientasi awal objek 3D furnitur sesuai yang diinginkan pengguna. Fitur translasi horizontal disematkan dengan cara interaksi menekan dan menggeser objek (*dragging*). Fitur rotasi pada sumbu vertikal disediakan dengan cara interaksi mengusap layar (*swiping*). Fitur deteksi permukaan datar perlu diberikan pada saat proses pemunculan objek 3D karena untuk menentukan elevasi dan kemiringan objek 3D, dan fitur ini diwujudkan dengan lingkaran penanda kemunculan objek. Fitur translasi vertikal diberikan bukan dengan tujuan untuk koreksi spasial namun untuk memberi kemudahan kepada pengguna seandainya ingin memindahkan objek 3D furnitur ke tempat dengan elevasi yang berbeda. Fitur modifikasi skala/ukuran objek juga diberikan untuk mengakomodasi jika terdapat furnitur-furnitur dengan bentuk yang sama namun berbeda ukuran. Sedangkan fitur rotasi pada sumbu horizontal tidak diberikan untuk menjaga objek 3D furnitur selalu dalam kemiringan yang sama dengan saat inisiasi objek.

Aplikasi AR Furnitur sebagai aplikasi untuk memvisualisasikan objek-objek 3D furnitur telah dikembangkan dan berhasil menjalankan fungsi, proses, dan fitur dengan baik (Tabel 2). Aplikasi mampu menampilkan

objek 3D furnitur yang dipilih pengguna di lokasi yang diarahkan dengan menggunakan lingkaran penanda. Ada keterbatasan jarak terjauh suatu objek dimunculkan dari piranti AR, yaitu 5 meter pada percobaan ini. Jarak tersebut mungkin dapat bervariasi di tiap kondisi yang berbeda, tergantung dari kondisi visual lingkungan. Hal ini karena objek 3D akan dibuat di posisi di mana lingkaran penanda berada. Sedangkan lingkaran penanda adalah hasil deteksi bidang datar dari komponen *AR Plane* yang menggunakan informasi visual dari kamera untuk mendeteksi titik-titik permukaan yang kemudian menjadi bidang datar. Jadi komponen *AR Plane* sangat mengandalkan kualitas informasi visual yang didapat, antara lain pencahayaan, tekstur warna/pola permukaan, dan sifat material permukaan. Di samping kualitas kamera yang baik, kondisi ideal seperti pencahayaan yang baik, permukaan bidang dengan tekstur berpola dan tidak memantulkan kilau cahaya akan sangat membantu komponen *AR Plane* dalam mendeteksi bidang datar, sehingga memungkinkan lingkaran penanda untuk muncul meskipun pada jarak yang jauh.

5. Simpulan

Teknologi smartphone baik hardware maupun software telah mengalami perkembangan sehingga dalam aplikasinya mampu memberikan visualisasi objek 3D virtual yang realistis dengan akurasi yang sangat baik. Meskipun demikian, selalu ada ruang untuk pengembangan. Terutama di aspek konsistensi dalam mendapatkan dan menyajikan informasi spasial yang akurat. Gangguan-gangguan berupa fluktuasi nilai-nilai spasial dan disorientasi spasial dapat menyebabkan visualisasi objek 3D mengalami ketidakakuratan yang mengganggu pengalaman pengguna. Penelitian ini mendapati aplikasi yang dikembangkan mempunyai ketidakakuratan proyeksi jarak 1% dan ketidakakuratan skala objek 2,83%, membuktikan bahwa aplikasi mampu memproyeksikan objek virtual dengan akurat. Namun, disorientasi spasial masih terkadang terjadi yang menyebabkan proyeksi objek bisa bergeser jatuh dari posisi awal yang semestinya. Penelitian ini berhasil mengukur ketidakakuratan spasial tersebut dan mengembangkan aplikasi AR Furnitur yang akurat disertai fitur-fitur modifikasi spasial objek 3D untuk memulihkan dampak dari disorientasi spasial. Adanya fitur-fitur modifikasi spasial objek seperti fitur translasi horizontal, fitur rotasi pada sumbu vertikal, dan fitur deteksi permukaan datar sangat berguna untuk mengoreksi posisi dan orientasi objek 3D di dunia nyata. Sedangkan fitur-fitur modifikasi spasial lainnya dapat berguna bagi pengguna dalam mengoperasikan aplikasi seperti memindahkan dan memutar objek 3D furnitur untuk mendapatkan penempatan yang tepat dari objek furnitur tersebut menurut preferensi pengguna.

Pengembangan penelitian lebih lanjut dapat dilakukan dengan mengembangkan *hardware* dan *software* yang lebih handal, konsisten, dan akurat dengan teknik-teknik baru untuk meningkatkan akurasi dan konsistensi spasial. Salah satunya adalah ide terobosan dengan menggunakan *marker* fisik sebagai *point of reference* untuk koreksi spasial ketika terjadi ketidakakuratan proyeksi objek. Tentunya pengembangan aplikasi untuk berbagai platform yang berbeda juga akan memperkaya pengembangannya.

Pustaka

- [1] A. Cahyono and B. H. Suharto, "Framework kelas virtual berbasis hologram tiga dimensi untuk meningkatkan motivasi siswa dalam belajar," *JIKO (Jurnal Informatika dan Komputer)*, vol. 6, no. 1, p. 82, Feb. 2022. doi: 10.26798/jiko.v6i1.536.
- [2] T. Scargill, Y. Chen, T. Hu, and M. Gorlatova, "Sitar: Situated trajectory analysis for in-the-wild pose error estimation," in *2023 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*, 2023, pp. 283–292. doi: 10.1109/ISMAR59233.2023.00043.
- [3] T. Scargill, J. Chen, and M. Gorlatova, "Here to stay: Measuring hologram stability in markerless smartphone augmented reality," 2021, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/2109.14757>.
- [4] J. Mercier *et al.*, "Impact of geolocation data on augmented reality usability: A comparative user test," *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. XLVIII-4/W7-2023, no. 4/W7-2023, pp. 133–140, Jun. 2023. doi: 10.5194/isprs-archives-XLVIII-4-W7-2023-133-2023.

- [5] J. P. Wilmott, I. M. Erkelens, T. S. Murdison, and K. W. Rio, "Perceptibility of jitter in augmented reality head-mounted displays," in *2022 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*, 2022, pp. 470–478. doi: 10.1109/ISMAR55827.2022.00063 .
- [6] G. Bruder *et al.*, "Visual factors influencing trust and reliance with augmented reality systems," *Journal of Vision Abstracts—Vision Sciences Society (VSS) Annual Meeting*, vol. 24, no. 10, Sep. 2024.
- [7] M. Gottsacker *et al.*, "Investigating the relationships between user behaviors and tracking factors on task performance and trust in augmented reality," *Comput. Graph.*, vol. 123, no. C, Oct. 2024. doi: 10.1016/j.cag.2024.104035 .
- [8] M. L. Galvão, P. Fogliaroni, I. Giannopoulos, G. Navratil, M. Kattenbeck, and N. Alinaghi, "Geoar: a calibration method for geographic-aware augmented reality," *International Journal of Geographical Information Science*, vol. 38, no. 9, pp. 1800–1826, Sep. 2024. doi: 10.1080/13658816.2024.2355326 .
- [9] K. S. Wibowo, Fauziah, and I. D. Sholihati, "Augmented reality dalam visualisasi katalog penjualan toko aneka furniture berbasis android menggunakan algoritma fast corner detection," *JATISI (Jurnal Teknik Informatika dan Sistem Informasi)*, vol. 8, no. 3, pp. 1336–1351, Sep. 2021. doi: 10.35957/jatinsi.v8i3.1006 .
- [10] Y. C. Nasution, A. Pertiwi, S. Irviantina, and W. S. Lestari, "Implementasi augmented reality menggunakan metode marker based pada website furniture rumahan dengan konsep 3d animation," *Jurnal SIFO Mikroskil*, vol. 24, no. 1, pp. 9–22, May 2023. doi: 10.55601/jsm.v24i1.939 .
- [11] A. Aribowo and D. Avianto, "Implementasi teknologi augmented reality pada penjualan mebel sebagai solusi meningkatkan pengalaman belanja konsumen," *INOVTEK Polbeng - Seri Informatika*, vol. 8, no. 1, p. 183, Jun. 2023. doi: 10.35314/isi.v8i1.3311 .
- [12] I. Irawati, L. N. Hayati, and M. N. Alfath, "Aplikasi augmented reality berbasis plane detection untuk visualisasi objek furniture ruangan," *JIKO (Jurnal Informatika dan Komputer)*, vol. 7, no. 2, p. 244, Sep. 2023. doi: 10.26798/jiko.v7i2.801 .
- [13] V. Miyanti, A. Muhidin, and D. Ardiatma, "Implementasi metode markerless augmented reality sebagai media promosi home furnishing berbasis android," *MALCOM: Indonesian Journal of Machine Learning and Computer Science*, vol. 4, no. 1, pp. 71–77, Dec. 2023. doi: 10.57152/malcom.v4i1.1019 .
- [14] H. J. A. Kusuma and M. Zakariyah, "3d visualization of furniture in a room with augmented reality," *Jurnal Indonesia: Manajemen Informatika dan Komunikasi*, vol. 5, no. 1, pp. 928–934, Jan. 2024. doi: 10.35870/jimik.v5i1.579 .
- [15] M. Ariwa, T. Itamiya, S. Koizumi, and T. Yamaguchi, "Comparison of the observation errors of augmented and spatial reality systems," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 11, no. 24, Dec. 2021. doi: 10.3390/app112412076 .